

## Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung der aktuellen Sauerstoffbeladung  
eines 3-Wege-Katalysators einer lambdageregelten Brennkraft-  
5 maschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der aktu-  
ellen Sauerstoffbeladung eines 3-Wege-Katalysators einer  
lambdageregelten Brennkraftmaschine mit einer dem Katalysator  
10 vorgeschalteten linearen Vorkat-Lambdasonde, einer dem Kata-  
lysator nachgeschalteten Nachkat-Lambdasonde und einer Vor-  
richtung zur Messung des Luftmassendurchsatzes. Außerdem ist  
die Erfindung auf eine Reihe von Verfahren zur Regelung,  
Steuerung und/oder Überwachung der Abgasnachbehandlung einer  
15 lambdageregelten Brennkraftmaschine gerichtet, welche die mit  
dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten Werte für die ak-  
tuelle Sauerstoffbeladung des Katalysators verwenden.

Ein 3-Wege-Katalysator kann Schadstoffe nur dann optimal um-  
wandeln, wenn das Kraftstoff/Luft-Verhältnis in einem engen  
20 Bereich um  $\Lambda \approx 1$  liegt. Dieser Bereich wird auch als Ka-  
talyator-Fenster bezeichnet. Nur bei derartigen Kraft-  
stoff/Luft-Verhältnissen ergibt sich eine Abgaszusammenset-  
zung, in welcher der bei der Reduktion der Stickoxide frei-  
werdende Sauerstoff ausreicht, um die HC- und CO-Anteile im  
25 Abgas fast vollständig zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  zu oxidieren. Bei einer  
Brennkraftmaschine mit 3-Wege-Katalysator wird die Gemisch-  
bildung daher durch eine sogenannte Lambdaregelung auf einen  
Sollwert von  $\Lambda \approx 1$  geregelt. Um kurzzeitige Schwankungen  
30 im Kraftstoff/Luft-Verhältnis auszugleichen, enthält der Ka-  
talyator außerdem eine Schicht (Washcoat) aus einem Materi-  
al, z.B.  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (Di-Cerium tri-Oxyd), welches kurzzeitig Sau-  
erstoff speichern kann und diesen nach Bedarf bindet oder ab-  
gibt.

35

Um die Gemischbildung regeln zu können, wird eine lineare  
Vorkat-Lambdasonde stromauf des Katalysators angeordnet. Die-

cherfähigkeit zu halten und damit gleichen Puffer an der Fett- und Magerseite zu schaffen, wodurch vorbeugend ein Durchbruch des Nachkat-Lambdasondensignals vermieden wird und außerdem die günstigsten Bedingungen für die Katalysator-  
 5 nose geschaffen werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung der aktuellen Sauerstoffbeladung eines 3-Wege-Katalysators einer lambdageregelten Brennkraftmaschine be-  
 10 reitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 definierte Erfindung gelöst.

15 Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Das Verfahren zur Ermittlung der aktuellen Sauerstoffbeladung verwendet die Signale einer linearen Vorkat-Lambdasonde, ei-  
 20 ner Nachkat-Lambdasonde und einer Vorrichtung zur Messung des Luftmassendurchsatzes. Hierbei wird aus dem Signal der Vorkat-Lambdasonde und dem gemessenen Luftmassendurchsatz durch Integration über die Zeit ein Wert für die aktuelle Sauerstoffbeladung berechnet, und dieser Wert wird bei einem  
 25 Durchbruch des Signals der Nachkat-Lambdasonde zu fetten Gemischen auf 0 gesetzt, da der Durchbruch anzeigt, dass im Katalysator kein Sauerstoff mehr eingelagert ist. Durch diese Kalibrierung werden aufintegrierte Fehler, z.B. Messfehler im Luftmassendurchsatz oder im Signal der Vorkat-Lambdasonde,  
 30 zurückgesetzt.

Vorzugsweise wird der Wert für die aktuelle Sauerstoffbeladung mit der folgenden Formel berechnet:

$$35 \quad mO_2 = [O_2]_{Luft} \int_0^t \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \dot{m} L \, dt,$$

se misst den im Abgas enthaltenen Restsauerstoffanteil. Eine Nachkat-Lambdasonde stromab des Katalysators dient zur Überwachung der Katalysatorfunktion. Bei der sogenannten OSC-basierten Katalysator-Diagnose (OSC = oxygen storage capacity, Sauerstoffspeicherfähigkeit) wird hierbei die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators überprüft. Hierzu wird durch eine Vorsteuerung der Lambdaregelung eine Fett-Mager-Schwingung des Gemisches bewirkt. Ein intakter Katalysator gleicht die Schwingung durch seine Sauerstoffspeicherfähigkeit aus, so dass die SONDENSspannung der Nachkat-Lambdasonde nur eine Schwingung mit geringer Amplitude ausführt. Hat der Katalysator seine Sauerstoffspeicherfähigkeit durch Alterung verloren, ist der Restsauerstoffgehalt jedoch vor und nach dem Katalysator ähnlich und das Signal der Nachkat-Lambdasonde führt ebenfalls starke Schwingungen aus.

Die Nachkat-Lambdasonde wird zudem oft dazu verwendet, eine Langzeitdrift im Signal der Vorkat-Lambdasonde auszugleichen. Dies wird auch als Trimmregelung bezeichnet.

Bei einem Katalysator mit ausreichender Sauerstoffspeicherfähigkeit und funktionierender Lambdaregelung ist das Signal der Nachkat-Lambdasonde also meistens konstant. Wenn das Signal ansteigt oder abfällt, ist der Katalysator entweder mit Sauerstoff gesättigt oder gänzlich von Sauerstoff entleert, so dass er eine Schwankung im Kraftstoff/Luft-Verhältnis nicht mehr ausgleichen kann. Dies wird auch als "Durchbruch" des Signals der Nachkat-Lambdasonde zu fettem bzw. zu magerem Gemisch bezeichnet.

Ein Durchbruch des Nachkat-Lambdasondensignals zeigt also an, dass die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators erschöpft ist oder dass kein Sauerstoff mehr eingelagert ist. Zwischen diesen beiden Grenzwerten ist jedoch keine Information über die tatsächliche aktuelle Sauerstoffbeladung des Katalysators erhältlich. Diese Information wäre jedoch sehr hilfreich, um die Sauerstoffbeladung bei etwa halber Spei-

wobei  $mO_2$  die aktuelle Sauerstoffbeladung,  $\lambda$  das Signal der Vorkat-Lambdasonde,  $mL$  der Luftmassendurchsatz und  $[O_2]_{Luft}$  der Massenanteil von Sauerstoff in Luft ist. Dieser liegt bei etwa 23%. Die Werte für  $\lambda$  und  $mL$  sind zeitabhängig.

5

Wenn auf diese Weise die aktuelle Sauerstoffbeladung ständig ermittelt wird, ist es auch möglich, einen Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators zu berechnen.

10

Hierfür wird bei einem Durchbruch zu magerem Gemisch aus der Differenz zwischen der aufintegrierten Sauerstoffbeladung und einem bis jetzt adaptierten Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit der neue Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit errechnet. Der Durchbruch zeigt nämlich an, dass die maximale Sauerstoffkapazität des Katalysators erreicht ist. Da die

15

Sauerstoffspeicherfähigkeit auch von gewissen Betriebsparametern abhängt, kann der adaptierte Wert optional noch mit einem betriebspunktabhängigen Faktor, der einem entsprechenden Kennfeld entnommen ist, multipliziert und dadurch korrigiert werden.

20

Ferner kann bei einem Durchbruch zu magerem Gemisch die aktuelle Sauerstoffbeladung auf den adaptierten Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators gesetzt werden.

25

Vorzugsweise wird zusätzlich aus dem Quotienten der aktuellen Sauerstoffbeladung und der Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators der aktuelle Sauerstoff-Quotient berechnet. Dieser Wert ist besonders hilfreich, wenn man beispielsweise die Sauerstoffbeladung bei einem bestimmten Wert halten möchte,

30

um vorbeugend Emissionen zu vermeiden.

35

In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung werden die nach dem obigen Verfahren berechneten Werte für die aktuelle Sauerstoffbeladung, die Sauerstoffspeicherfähigkeit und/oder den aktuellen Sauerstoff-Quotienten bei verschiedenen Verfahren zur Regelung, Steuerung und/oder Überwachung der Abgas-

nachbehandlung einer lambdageregelten Brennkraftmaschine verwendet.

Eine erste Anwendung liegt bei der OSC-basierten Katalysator-Diagnose. Hierbei wird durch eine Zwangsanregung bzw. Vorsteuerung des Kraftstoff/Luft-Verhältnisses eine Fett-Mager-Schwingung eingestellt, die zu einer maximalen Sauerstoff-Beladung des Katalysators führt. Die maximale Sauerstoff-Beladung wird so gewählt, dass sie von einem Grenzkatalysator, der maximal zulässig gealtert ist, gerade noch bewältigt werden kann, ohne dass es zu Durchbrüchen des Nachkat-Sondensignals kommt. Dieses Diagnoseverfahren wird im Rahmen der OBD (on-board diagnosis) in durch die ECU (electronic control unit, elektronische Betriebssteuerung) gesteuerten Zeitabständen durchgeführt. Für diese OSC-basierte Diagnose ist es jedoch von großer Bedeutung, vor Beginn der Zwangsanregung eine definierte, für die Diagnose erforderliche Sauerstoffbeladung eingestellt zu haben. Im Stand der Technik erfolgt der Übergang von der geringeren nominalen auf die maximale Sauerstoffbeladung für die Katalysator-Diagnose daher in mehreren Schritten, da der Beladungszustand des Katalysators weitestgehend unbekannt ist und die hohe zusätzliche Sauerstoffbeladung zu einem Sauerstoff-Quotienten von unter 0% oder über 100% und damit zu Emissionen hinter dem zu diagnostizierenden Katalysator führen kann. Herkömmlich fällt der Trimmregelung über das Nachkat-Signal die Aufgabe zu, in der Übergangsphase die mittlere Sauerstoffbeladung indirekt so einzustellen, dass die OBD Grenzkat-Belastung nur bei einem Grenzkatalysator zu Durchbrüchen führt. Dieser Einstellungs-vorgang dauert jedoch einige Zwangsanregungsperioden und benötigt daher im Fahrzyklus zusätzlich Zeit, was dazu führen kann, dass die für die Katalysator-Diagnose erforderliche Anzahl der Diagnosezyklen nicht am Stück durchgeführt werden kann oder die Übergangsphase zur Diagnose unterbrochen wird, ohne einen gültigen Diagnosewert ermittelt zu haben, was zu vermeidbaren Emissionen führt.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird daher vor Beginn der Diagnose der Sauerstoff-Quotient durch die Lambdaregelung auf einen vorbestimmten Sollwert eingestellt, der für die Diagnose erforderlich ist. Dieser Sollwert ist so gewählt, dass die Zwangsanregung für die Katalysatordiagnose den Katalysator womöglich nur leicht überfährt, und dadurch ist die Emissionsbeeinflussung durch die Katalysatordiagnose so niedrig wie möglich. Hierdurch wird eine Vorkonditionierung des Katalysators zur Einstellung der Sauerstoffbeladung realisiert und der Umschaltvorgang auf die OBD-Grenzkatalysator-Zwangsanregung erheblich beschleunigt.

Ferner können durch den genauer bekannten Sauerstoffbeladungsgrad Durchbrüche des Nachkat-Lambdasondensignals während der Katalysatordiagnose reproduzierbarer realisiert werden, und dadurch die Streuung der Einzeldiagnosezyklen minimiert werden. Damit wird insgesamt die Genauigkeit der Katalysator-Diagnose verbessert.

Da das erfindungsgemäße Verfahren eine Bestimmung der Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators ermöglicht, kann auf die OSC-basierte Katalysator-Diagnose alternativ auch gänzlich verzichtet werden, da sich mit der Information über die Sauerstoffspeicherfähigkeit direkt eine Aussage über den Alterungszustand des Katalysators treffen lässt. Dies gilt jedoch nur dann, wenn das Signal der linearen Vorkat-Lambdasonde und die verfügbare Information über den Luftmas-sendurchsatz genau genug sind, um einen ausreichend zuverlässigen Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit zu ermitteln. Die Ersetzung der OSC-Methode hat den Vorteil, dass keine aktive und emissionsbeeinflussende Zwangsanregung mehr notwendig ist. Zumindest kann durch die ermittelte maximale Sauerstoffspeicherfähigkeit eine Vorabinformation über den Alterungszustand des Katalysators generiert werden.

35

Im Gegensatz zu herkömmlichen Katalysator-Diagnoseverfahren gestattet der vorgeschlagene Ansatz die permanente Bestimmung

der Sauerstoffspeicherfähigkeit, wobei allerdings bedingt durch unterschiedliche Berücksichtigung von Oberflächen- und Tiefenspeichereffekten unterschiedliche Werte der Sauerstoffspeicherfähigkeit auftreten können.

5

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist die Regelung der Spülung des Katalysators nach einer Schubabschaltungsphase. Nach Schubabschaltungsphasen ist der Katalysator mit Sauerstoff gesättigt und daher ein Anfetten des Gemisches notwendig, um den Katalysator zu "spülen", ihn also schnellstmöglichst wieder auf einen Sauerstoff-Quotienten von etwa 50% einzustellen. Mit den ermittelten Werten für die Sauerstoffspeicherfähigkeit und die Sauerstoffbeladung kann ein Beladungsmodell aufgestellt werden, bei dem die Anfettung zum "Spülen" des Katalysators bis zu einem definiertem Sauerstoff-Quotienten vorgegeben wird, der an die Katalysatoreigenschaften (z.B. Alterung) angepasst ist und bei dem der Sauerstoff-Quotient nach einer Schubabschaltungsphase durch die Lambdaregelung auf den Sollwert geregelt wird. So werden NO<sub>x</sub>- und HC/CO- Emissionen weitestgehend vermieden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Lambdaregelung derart eingestellt, dass der Sauerstoff-Quotient auf einen bestimmten Sollwert von z.B. 50% geregelt wird. 50% ist bei den meisten Betriebszuständen die optimale Einstellung des Sauerstoff-Quotienten, da hierbei die maximalen Sauerstoffpufferreserven des Katalysators für Instationärvorgänge oder generell Störungen im Kraftstoff/Luft-Verhältnis, sowohl für Abweichungen zu fettem als auch zu magerem Gemisch, vorhanden sind. Damit ist eine Lambdaregelung, die eine lokale Sauerstoffbilanzierung mittels I<sup>2</sup>-Anteil vornimmt, stark vereinfacht möglich und sogar eine vollständige Bilanzierung gewährleistet. Außerdem ist eine Trennung zwischen Regelung und Bilanzierung geschaffen.

35

Bevorzugt werden die ermittelten Werte für den Sauerstoff-Quotienten außerdem zur Steuerung bzw. Priorisierung der Re-

gel- und Steuereingriffe des Lambdareglers, des Trimmreglers und der Zwangsanregung bei der OSC-Diagnose verwendet. Alle Regel- und Steuereingriffe des Lambdareglers, der Zwangsanregung und auch des Trimmreglers bewirken eine Anfettung oder Abmagerung des Gemisches. Die unterschiedlichen Informationsquellen hierfür (Nachkat-Signal für die Trimmregelung und Vorkat-Signal für die Lambdaregelung) führen zu zeitlich versetzten Eingriffen. Überlagert ist die Vorsteuerung der Zwangsanregung. Ist die aktuelle Sauerstoffbeladung bzw. der aktuelle Sauerstoff-Quotient bekannt, kann nun eine beladungsgradabhängige Bewertung der Eingriffe erfolgen. Vorzugsweise unterbleibt ein vorgesehener Steuer- oder Regeleingriff zur Abmagerung des Gemisches, wenn der Sauerstoff-Quotient über einem vorbestimmten ersten Schwellwert liegt; und ein vorgesehener Steuer- oder Eingriff zur Anfettung des Gemisches unterbleibt, wenn der Sauerstoff-Quotient unter einem vorbestimmten zweiten Schwellwert liegt. Alternativ kann auch eine Magerphase der Zwangsanregung unterbunden werden, wenn der Sauerstoff-Quotient über dem ersten Schwellwert liegt. Ferner kann der zeitlich verzögerte Eingriff des Trimmreglers bewertet werden. Ist beispielsweise der Eingriff, den der Trimmregler auf Basis des Nachkat-Lambdasondensignals vornehmen würde, bereits durch andere Maßnahmen kompensiert (z.B. durch die Reaktion des Lambdareglers auf eine Störung), kann dieser unterlassen werden.

Leichte Störungen können auch über Periodenlängenvariation der Zwangsanregung kompensiert werden. Beispielsweise erfolgt eine Anfettung, die der Lambdaregler vornehmen möchte, statt dessen, indem in der Zwangsanregung nicht auf die Magerhalb- welle umgeschaltet wird oder die Fetthalb- welle verlängert wird. Diese Art des Reglereingriffs kann man als Feintuning bezeichnen.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:



- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 5 Fig. 2 einen beispielhaften Zeitverlauf der aktuellen Sauerstoffbeladung und des Signals der Nachkat-Lambdasonde,
- Fig. 3 ein Flussdiagramm eines schematisierten Verfahrensablaufes,
- 10 Fig. 4 einen beispielhaften Zeitverlauf des Sauerstoff-Quotienten vor und während einer OSC-Diagnose,
- Fig. 5 einen beispielhaften Zeitverlauf des Sauerstoff-Quotienten beim Spülen des Katalysators,
- Fig. 6 einen beispielhaften Zeitverlauf des Sauerstoff-Quotienten beim Spülen eines Hauptkatalysators und Überfahren des Vorkatalysators,
- 15 Fig. 7 einen beispielhaften Zeitverlauf des Sauerstoff-Quotienten bei der Lambdaregelung,
- Fig. 8 einen beispielhaften Zeitverlauf des Sauerstoff-Quotienten nach einer Störung mit und ohne Eingriffskoordination.
- 20

In Fig. 1 ist eine Brennkraftmaschine 1 mit einem Kraftstoffzufuhrsystem und einem Steuergerät 3 dargestellt. Das Kraftstoffzufuhrsystem 2 wird über nicht näher bezeichneten Leitungen vom Steuergerät 3 angesteuert und sorgt für die Kraftstoffzuteilung der Brennkraftmaschine 1. In deren Abgastrakt 4 befindet sich ein 3-Wege-Katalysator 6. Zum Durchführen der Lambdaregelung ist stromauf des Katalysators 6 eine Vorkat-

30 Lambdasonde 5 und stromab des Katalysators eine Nachkat-Lambdasonde 7 zum Messen des Lambdawertes vorgesehen. Die Vorkat-Lambdasonde 5 ist eine lineare Lambdasonde, während als Nachkat-Lambdasonde 7 hier eine sogenannte binäre Lambdasonde verwendet wird, bei welcher sich die Ausgangsspannung

35 im Bereich  $\lambda = 1$  fast sprunghaft beispielsweise von unter 100 mV bei mageren Gemischen ( $\lambda > 1$ ) zu über 0,7 V bei fetten Gemischen ( $\lambda < 1$ ) ändert; dies wird auch als

- Zweipunktverhalten bezeichnet. Beide Lambdasonden liefern ihre Messwerte über nicht näher bezeichnete Leitungen an das Steuergerät 3. Im Ansaugtrakt 8 befindet sich ein Luftmassensensor 9, der beispielsweise im Ansaugrohr angeordnet ist und seine Messwerte über nicht näher bezeichnete Leitungen an das Steuergerät 3 liefert. Alternativ kann der Luftmassendurchsatz auch mithilfe entsprechender anderer Sensoren indirekt aus der Drosselklappenstellung, bzw. Saugrohrdruck und der Drehzahl berechnet werden. Dem Steuergerät 3 werden noch die Werte weiterer Sensoren, insbesondere der Drehzahl, der Katalysatortemperatur, usw. zugeführt. Mit Hilfe dieser Werte steuert das Steuergerät 3 den Betrieb der Brennkraftmaschine 1.
- Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 erfolgt die Regelung der katalytischen Abgasbehandlung im Abgastrakt 4 wie folgt: Die Kraftstoffzufuhr im Kraftstoffzufuhrsystem 2 wird so geregelt, dass das Signal der Vorkat-Lambdasonde 5 eine leichte Schwingung um  $\lambda \approx 1$  ausführt. Bei einer normalen Lambdasonde entspricht beispielsweise ein Spannungspegel von 450mV dem Wert  $\lambda \approx 1$ . Das Signal der Vorkat-Lambdasonde 5 schwingt um diesen Wert, so dass der Katalysator 6 im Mittel Abgas mit dem Wert  $\lambda \approx 1$  zugeführt bekommt. Die Nachkat-Lambdasonde 7 misst den Lambdawert im behandelten Abgas stromab des Katalysators 6. Bei intaktem Katalysator und gut eingestellter Lambdaregelung ist ihr Signal annähernd konstant. Nur bei bestimmten Betriebszuständen, wie beispielsweise nach einer Schubabschaltung oder während der Zwangsanregung bei der OSC-Diagnose, verändert sich das Signal der Nachkat-Lambdasonde sprunghaft nach oben oder unten und zeigt damit an, dass die maximale Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators erreicht ist oder der Sauerstoffvorrat erschöpft ist. Dies wird auch als Durchbruch des Nachkat-Sondensignals bezeichnet.
- Fig. 2 zeigt einen beispielhaften Zeitverlauf der Sauerstoffbeladung  $mO_2$  des Katalysators 6, welcher aus dem Signal der

Vorkat-Lambdasonde 5 und dem Luftmassenmesser 9 durch die Formel

$$mO_2 = [O_2]_{Luft} \int_0^t \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \dot{m}L \, dt,$$

5

integriert wird. In der Formel bezeichnet  $mO_2$  die aktuelle Sauerstoffbeladung,  $\lambda$  das Signal der Vorkat-Lambdasonde,  $\dot{m}L$  den Luftmassendurchsatz und  $[O_2]_{Luft}$  den Massenanteil von Sauerstoff in Luft, der bei etwa 23% liegt. Unter der Zeitkurve von  $mO_2$  ist beispielhaft das Signal der Nachkat-Lambdasonde  $\lambda_{nach}$  dargestellt.

10

Die dargestellte Zeitkurve von  $mO_2$  fällt zunächst ab, d.h. dass dem Katalysator ein fettes Gemisch zugeführt wird. Bei 15 12 ist der gespeicherte Sauerstoff des Katalysators aufgebraucht, so dass das Nachkat-Lambdasondensignal nach oben, d.h. zu fetten Gemischen, ausschlägt. An diesem Durchbruch wird erkannt, dass  $mO_2$  zu diesem Zeitpunkt den Wert  $0mg$  hat. Dadurch kann der Wert für  $mO_2$  auf  $0mg$  kalibriert werden. Im 20 Folgenden steigt der Wert für  $mO_2$  wieder an, bis er durch die Lambdaregelung für eine Weile in der Nähe eines mittleren Wertes 13 gehalten wird. Später steigt die Sauerstoffbeladung noch weiter an, z.B. aufgrund von kurzen Schubabschaltungsphasen, in denen die Kraftstoffzufuhr gedrosselt wird. Bei 25 14 ist die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators erreicht, und das Signal der Nachkat-Lambdasonde 7 schlägt nach unten aus, da sich der Sauerstoffgehalt stromab des Katalysators 7 erhöht. Dieser Durchbruch wird vom Steuergerät 3 registriert und dazu verwendet, die Adaption der 30 Sauerstoffspeicherfähigkeit  $mO_2_{max}$  zu berechnen. Hierzu wird die Differenz zwischen dem bisherigen adaptierten Wert und der aktueller Sauerstoffbeladung berechnet und davon der neue adaptierte Wert der Sauerstoffspeicherfähigkeit berechnet. Die aktuelle Sauerstoffbeladung - im dargestellten Beispiel 35  $90mg$  - wird danach der Sauerstoffspeicherfähigkeit  $mO_2_{max}$  gleichgesetzt.

Ein Flussdiagramm eines beispielhaften Verfahrens zur Berechnung und Initialisierung des Wertes für die aktuelle Sauerstoffbeladung  $mO_2$  ist in Fig. 3 dargestellt. Das Verfahren  
5 beginnt in Schritt 16 mit einer ersten Initialisierung bei einem Durchbruch des Nachkat-Lambdasondensignals nach oben oder unten. Bricht das Signal nach oben aus, ist der Lambda-Wert nach dem Katalysator zu niedrig und daher der Sauerstoffspeicher des Katalysators gänzlich entleert.  $mO_2$  wird  
10 daher auf den Wert 0 gesetzt (Schritt 18). In Schritt 20 werden durch Integration über die Zeit laufend aktuelle Werte für  $mO_2$  ermittelt. Dies wird fortgesetzt, bis in Schritt 22 ein weiterer Durchbruch des Signals der Nachkat-Lambdasonde festgestellt wird. Dieser kann z.B. in die andere Richtung  
15 als in Schritt 16 zeigen, also nach unten. Dieser Durchbruch zeigt an, dass die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators erschöpft ist. Somit kann durch einen Vergleich des in Schritt 20 durch die Integration berechneten Wertes für  $mO_2$  mit dem zuletzt angenommenen Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit ein neuer Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit  
20  $mO_{2\_max}$  berechnet werden.

Dies empfiehlt sich aber nur dann, wenn der zwischen den beiden Durchbrüchen bei 16 und 22 aufintegrierte Wert für den  
25 Luftmassendurchsatz nicht zu hoch ist, da die Messwerte für den Luftmassendurchsatz und auch den Lambda-Wert mit Messfehlern behaftet sind. Diese Messfehler werden in Schritt 20 aufintegriert und summieren sich über die Zeit. Daher wird bei 24 abgefragt, ob das seit dem letzten Durchbruch  
30 aufintegrierte Luftmassendurchsatz zu hoch ist, und nur wenn das Luftmassenintegral einen gewissen Schwellwert unterschreitet, wird der Wert für  $mO_{2\_max}$  adaptiert, d.h. neu berechnet und im Steuergerät gespeichert (Schritt 26). Daraufhin wird die Integration über die Zeit fortgeführt, um laufend  
35 aktuelle Werte für  $mO_2$  zu ermitteln (Schritt 28). Diese neu ermittelten aktuellen Werte werden zusätzlich durch die adaptierte Sauerstoffspeicherfähigkeit geteilt, um laufend

Werte für den aktuellen Sauerstoff-Quotienten  $qO_2$  zu erhalten. Diese Schritte werden wenn möglich bei jedem Durchbruch des Nachkat-Lambdasondensignals wiederholt, um eine Aufsum-  
mierung von Messfehlern zu verhindern und um ständig neue  
5 Werte für die maximale Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators zu erhalten.

Die Figuren 4-8 zeigen den Zeitverlauf des Sauerstoff-  
Quotienten  $qO_2$  bei verschiedenen Anwendungen und Ausführungs-  
10 beispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 4 zeigt den Zeitverlauf von  $qO_2$  kurz vor und während einer OSC-basierten Katalysator-Diagnose. Zum Zeitpunkt 30 hat der Sauerstoff-Quotient zufällig einen relativ hohen Wert X.  
15 Würde die Zwangsanregung bereits zu diesem Zeitpunkt beginnen, wäre nach kurzer Zeit die maximale Sauerstoffkapazität, die einem Wert von  $qO_2=100\%$  entspricht, erreicht, was zu einer erhöhten  $NO_x$ -Ausstoß führen würde. Bei einer herkömmlichen Lambdaregelung lässt sich dies nicht vermeiden, da der  
20 Wert X für den aktuellen Sauerstoff-Quotienten nicht bekannt ist. In diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird  $qO_2$  jedoch ständig berechnet, so dass es möglich ist, vor Beginn der Zwangsanregung einen definierten, für die Diagnose erforderlichen Sauerstoff-Quotienten einzustellen. Im dargestellten  
25 Beispiel liegt dieser Wert bei 50% und wird zum Zeitpunkt 32 erreicht. Dort beginnt die Zwangsanregung, bei der die Gemischbildung einer Fett-Mager-Schwingung unterzogen wird. Dadurch schwankt die Beladung des Katalysators und damit der berechnete Sauerstoff-Quotient mit einer Amplitude P. Im dargestellten  
30 Beispiel werden die Maximalwerte 0% und 100% während dieser Schwingung nicht erreicht, so dass keine Durchbrüche des Nachkat-Lambdasondensignals auftreten und ein noch funktionstüchtiger Katalysator diagnostiziert wird.

35 In den Figuren 5 und 6 sind Beispielhafte Sollverläufe des Sauerstoff-Quotienten während eines Spülvorgangs des Katalysators dargestellt. Die Schubabschaltungsphase ist jeweils

zum Zeitpunkt  $t_{\text{PUC-Ende}}$  (PUC = pull fuel cutoff) beendet. Zu diesem Zeitpunkt ist der Katalysator mit Sauerstoff gesättigt. Um den Katalysator möglichst schnell wieder auf einen Sauerstoff-Quotienten von etwa 50% zu stellen, wird das Gemisch zeitweise angefettet. Nach Möglichkeit soll der Katalysator jedoch nicht zu stark gespült werden, da sonst CO- und HC-Emissionen entstehen. Daher wird mit Hilfe der bekannten Größen "Sauerstoffspeicherfähigkeit" und "Sauerstoff-Quotient" ein Beladungsmodell aufgestellt, bei dem ein Sollwert und ggf. ein Sollverlauf für den Sauerstoff-Quotienten eingestellt wird.

Für einen Hauptkatalysator ergibt sich dadurch beispielsweise der in Fig. 5 dargestellte Verlauf des Sauerstoff-Quotienten.

Ist neben dem Hauptkatalysator auch ein Vorkatalysator vorhanden, soll dieser ebenfalls "gespült" werden. Ein weiteres Beladungsmodell gestattet daher ferner die definierte Einstellung einer Sauerstoff-Konzentration im Vorkatalysator, bei der auch nach Spülen des Hauptkatalysators (wobei der Vorkatalysator "überfahren" wird) eine Abmagerung darstellbar ist. Fig. 6 zeigt einen möglichen Verlauf des Sauerstoff-Quotienten im Vorkatalysator beim Spülen eines Hauptkatalysators, bei welchem der Vorkatalysator bei 34 "überfahren" wird.

Bei einer weiteren Ausführungsform kann nach einer kurzen Schubabschaltungsphase, bei der das Nachkat-Lambdasondensignal gar nicht reagiert hat, ebenfalls ein Spülvorgang eingeleitet werden, da mit Hilfe der tatsächlichen Sauerstoffbeladung nun ein geeignetes Spülmaß ermittelt werden kann. Außerdem lässt sich das Spülmaß an den Alterungszustand des Katalysators anpassen.

In einer anderen Weiterbildung der Erfindung wird eine Lambdaregelung aufgesetzt, die als Sollwert für den Sauerstoff-Quotienten  $q_{O2}$  einen Wert in der Nähe von 50%, im gezeigten

Beispiel 45%, hat. Bei einem Sauerstoff-Quotienten von 50% sind immer die maximalen Sauerstoffspeicherreserven des Katalysators für Instationärvorgänge oder generell Störungen im Luft/Kraftstoff-Gemisch – sowohl für Abweichungen zu fettem als auch zu magerem Gemisch – vorhanden. Bei einem Sauerstoff-Quotienten von 45% ist der Puffer zu mageren Gemischen ein wenig größer, was zur Vermeidung von NO<sub>x</sub>-Emissionen vorteilhaft ist. Fig. 7 zeigt beispielhaft den Verlauf eines Sauerstoff-Quotienten, der durch die Lambdaregelung auf 45% geregelt wird.

Schließlich zeigt Fig. 8 ein Beispiel für eine weitere Ausführungsform der Erfindung, bei welchem die Information über den aktuellen Sauerstoff-Quotienten dazu verwendet wird, um eine Störung in der Luft/Kraftstoff-Zusammensetzung möglichst schnell zu kompensieren. Die Kurve 36 zeigt die heutige Lösung, bei der die Regel- und Steuereingriffe des Lambdareglers, des Trimmreglers und der Zwangsanregung nicht priorisiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Informationsquellen für diese Regler (Nachkatsignal für die Trimmregelung und Vorkatsignal für die Lambdaregelung) sind die Eingriffe dieser Regler teilweise zeitlich versetzt, was zu einer langsameren Korrektur der Störung führt. Die Kurve 37 zeigt hingegen den Wert des Sauerstoff-Quotienten mit Koordination der Eingriffe. Dabei wird beispielsweise ein Eingriff, den der Trimmregler auf Basis des Nachkatsignals vornehmen würde, unterlassen, wenn dieser Eingriff bereits durch andere Maßnahmen kompensiert ist. Des weiteren kann z.B. eine Magerphase der Zwangsanregung unterbunden werden, wenn die Sauerstoffbeladung über einer Schwelle liegt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die permanente Bestimmung der aktuellen und maximalen Sauerstoffbeladung eines 3-Wege-Katalysators sowie eine Emissionsreduzierung durch gezielte Eingriffe auf Basis dieser Informationen. Ferner erlauben die beschriebenen Steuerungs-, Regelungs- und Überwachungsverfahren eine Emissionsreduzierung, Zeitverkürzung und

Genauigkeitsverbesserung der Katalysator-Diagnose insbesondere für Systeme ohne zweiten Katalysator. Weiterhin wird eine kontinuierliche Alterungsinformation über den Katalysatorzustand zur Adaption von Funktionen wie z.B. der Katalysatorspülung nach einer Schubabschaltung bereitgestellt, was ebenfalls zur Emissionsreduzierung beiträgt. Schließlich kann eine weitere Emissionsreduzierung durch die beladungsgradabhängige Koordination von Steuer- und Regelungseingriffen erreicht werden.

10



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der aktuellen Sauerstoffbeladung (mO<sub>2</sub>) eines 3-Wege-Katalysators (6) einer lambdageregelten Brennkraftmaschine (1) mit einer dem Katalysator vorgeschalteten linearen Vorkat-Lambdasonde (5), einer dem Katalysator nachgeschalteten Nachkat-Lambdasonde (7) und einer Vorrichtung (9) zur Messung des Luftmassendurchsatzes, bei welchem - aus dem Signal der Vorkat-Lambdasonde (5) und dem gemessenen Luftmassendurchsatz durch Integration über die Zeit ein Wert für die aktuelle Sauerstoffbeladung (mO<sub>2</sub>) berechnet wird,  
- und dieser Wert bei einem Durchbruch des Signals der Nachkat-Lambdasonde zu fetten Gemischen auf 0 gesetzt wird.

15

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Wert für die aktuelle Sauerstoffbeladung (mO<sub>2</sub>) mit der folgenden Formel berechnet wird

20 
$$mO_2 = [O_2]_{Luft} \int_0^t \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \dot{m}L dt,$$

wobei mO<sub>2</sub> die aktuelle Sauerstoffbeladung,  $\lambda$  das Signal der Vorkat-Lambdasonde,  $\dot{m}L$  der Luftmassendurchsatz und  $[O_2]_{Luft}$  der Massenanteil von Sauerstoff in Luft ist.

25

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit (mO<sub>2\_max</sub>) des Katalysators (6) durch die Differenz zwischen der ermittelten Sauerstoffbeladung (mO<sub>2</sub>) bei einem Durchbruch des Signals der Nachkat-Lambdasonde zu mageren Gemischen und einem bisher adaptierten Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit adaptiert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Wert für die Sauerstoffbeladung (mO<sub>2</sub>) bei einem Durchbruch des Signals der Nachkat-Lambdasonde zu mageren Ge-

mischen auf die Sauerstoffspeicherfähigkeit (mO2\_max) gesetzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei welchem aus dem Quotienten der aktuellen Sauerstoffbeladung (mO2) und der Sauerstoffspeicherfähigkeit (mO2\_max) des Katalysators der aktuelle Sauerstoff-Quotient (qO2) berechnet wird.

6. Verfahren zur Regelung, Steuerung und/oder Überwachung der Abgasnachbehandlung einer lambdageregelten Brennkraftmaschine (1) mit einem 3-Wege-Katalysator (6), einer dem Katalysator vorgeschalteten linearen Vorkat-Lambdasonde (5), einer dem Katalysator nachgeschalteten Nachkat-Lambdasonde (7) und einer Vorrichtung (9) zur Messung des Luftmassendurchsatzes, welches Werte für

- die aktuelle Sauerstoffbeladung (mO2) des Katalysators,
- die Sauerstoffspeicherfähigkeit (mO2\_max) des Katalysators, und/oder
- den aktuellen Sauerstoff-Quotienten (qO2),

verwendet, die mit dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche berechnet wurden.

7. Verfahren nach Anspruch 6 zur Diagnose des Katalysators (6), bei welchem

- während der Diagnose durch eine Zwangsanregung eine Schwingung der Sauerstoffbeladung des Katalysators (6) erzeugt wird, deren Amplitude über der maximalen Sauerstoffbeladung im normalen Betrieb liegt,
- wobei ein Defekt des Katalysators (6) diagnostiziert wird, wenn das Schwingungsverhalten des Signals der Nachkat-Lambdasonde (7) außerhalb eines Sollbereichs liegt,
- und wobei vor Beginn der Diagnose der Sauerstoff-Quotient (qO2) auf einen vorbestimmten Sollwert, insbesondere auf 50%, eingestellt wird, der für die Diagnose erforderlich ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7 zur Überwachung der Alterung des Katalysators (6), bei welchem

- der adaptierte Wert für die Sauerstoffspeicherfähigkeit (mO2\_max) des Katalysators (6) mit einem vorbestimmten Schwellwert verglichen wird und
  - das Diagnoseverfahren nach Anspruch 6 durchgeführt wird,
- 5 wenn die maximale Sauerstoffspeicherfähigkeit (mO2\_max) den Schwellwert unterschreitet.

9. Verfahren nach Anspruch 6 zur Regelung der Spülung des Katalysators (6) nach einer Schubabschaltungsphase, bei welchem
- 10 - ein Sollwert für den Sauerstoff-Quotienten (qO2) nach einer Schubabschaltungsphase vorgegeben wird,
- der Sauerstoff-Quotient nach einer Schubabschaltungsphase durch die Lambdaregelung der Brennkraftmaschine auf den Sollwert geregelt wird.

15

10. Verfahren nach Anspruch 6 zur Regelung der Abgasnachbehandlung einer lambdageregelten Brennkraftmaschine, bei welchem der Lambdaregler derart eingestellt wird, dass der Sauerstoff-Quotient (qO2) auf einen Sollwert, insbesondere auf
- 20 einen Sollwert von 50%, geregelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 6 zur Regelung und/oder Steuerung der Abgasnachbehandlung einer lambdageregelten Brennkraftmaschine, bei welchem die Steuer- und Regeleingriffe des Lambdareglers unter Berücksichtigung der aktuellen Sauerstoffbeladung (mO2) durchgeführt werden, wobei
- 25 - ein vorgesehener Steuer- oder Regeleingriff zur Abmagerung des Gemischs unterbleibt, wenn der Sauerstoff-Quotient (qO2) über einem vorbestimmten ersten Schwellwert liegt; und
- 30 - ein vorgesehener Steuer- oder Regeleingriff zur Anfettung des Gemischs unterbleibt, wenn der Sauerstoff-Quotient (qO2) unter einem vorbestimmten zweiten Schwellwert liegt.

FIG 1

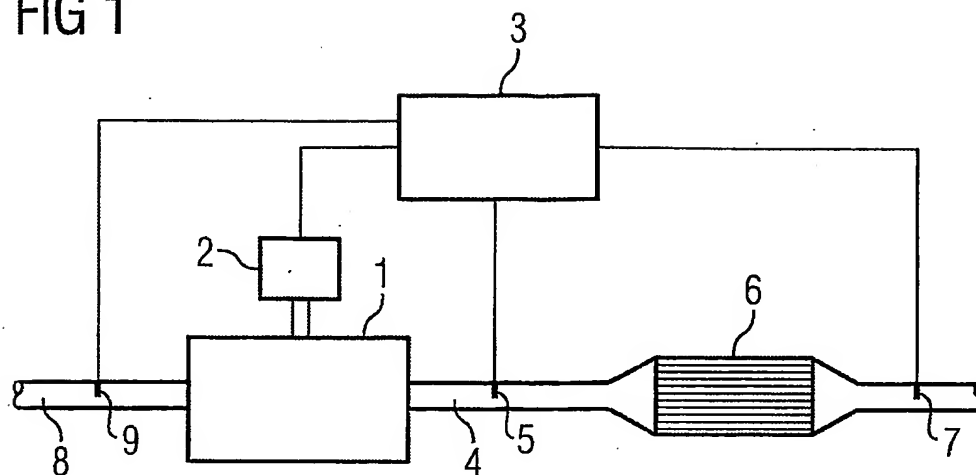


FIG 2

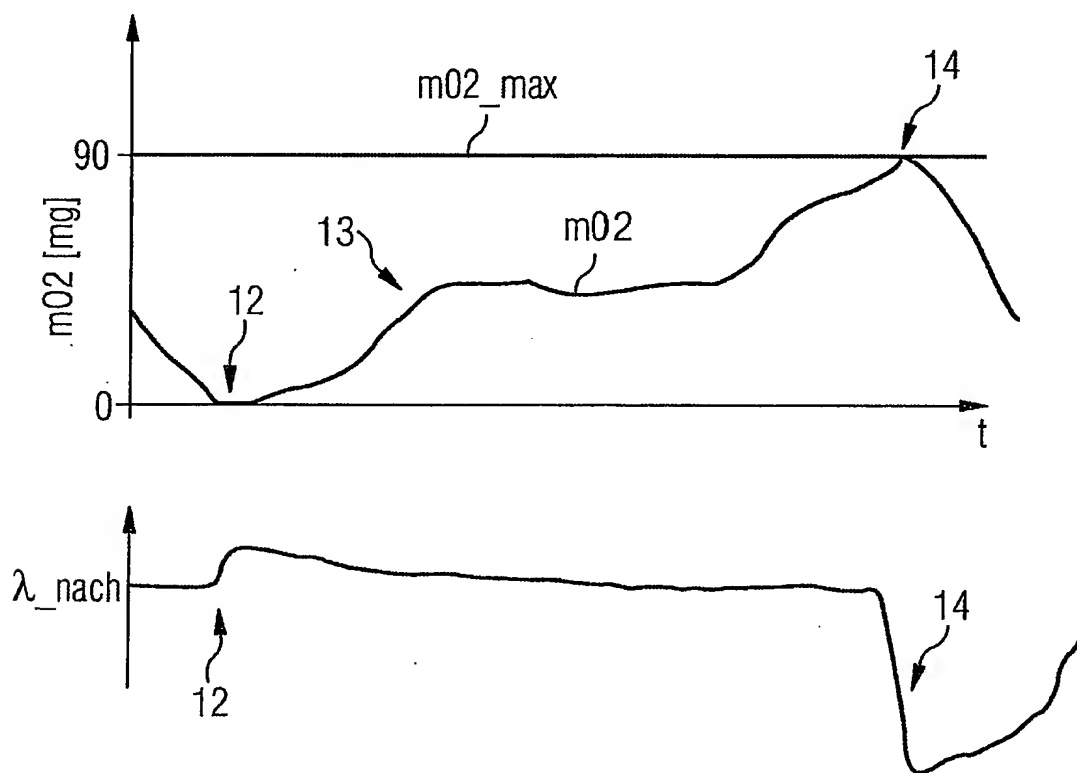


FIG 3

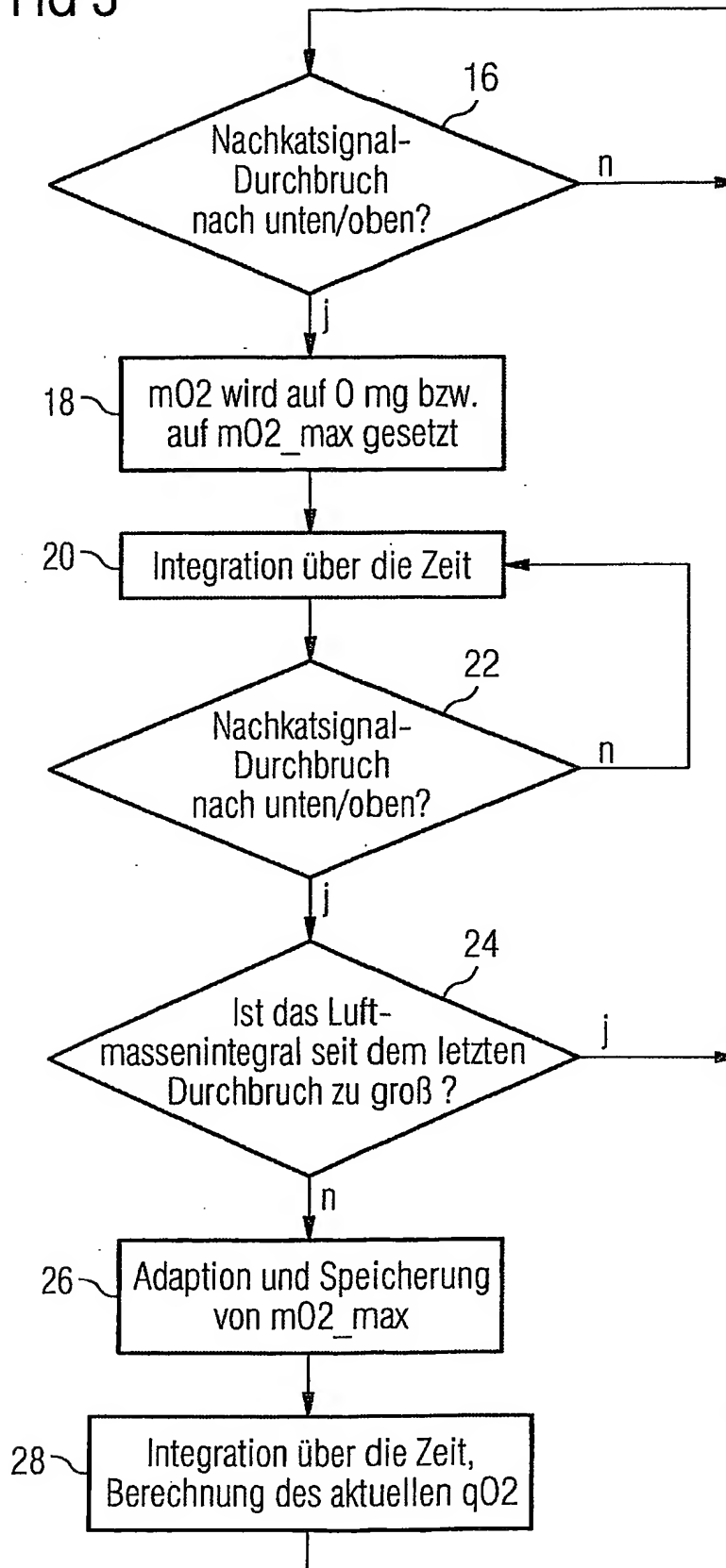


FIG 4

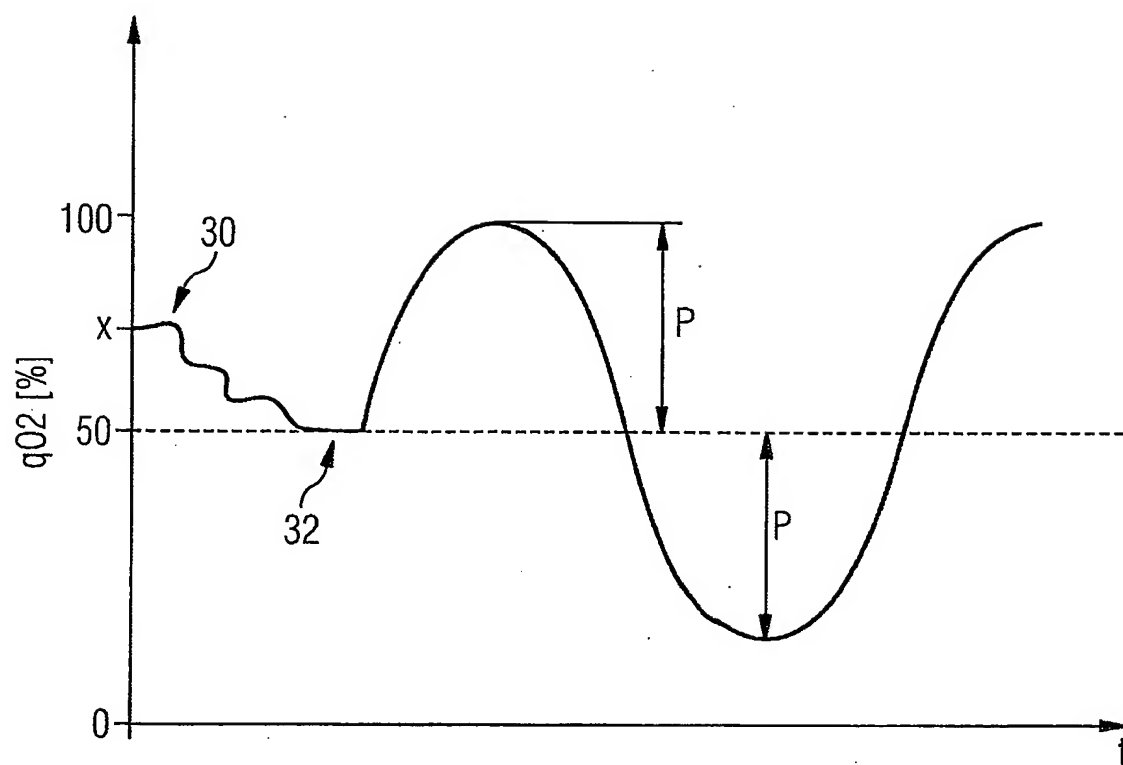


FIG 5

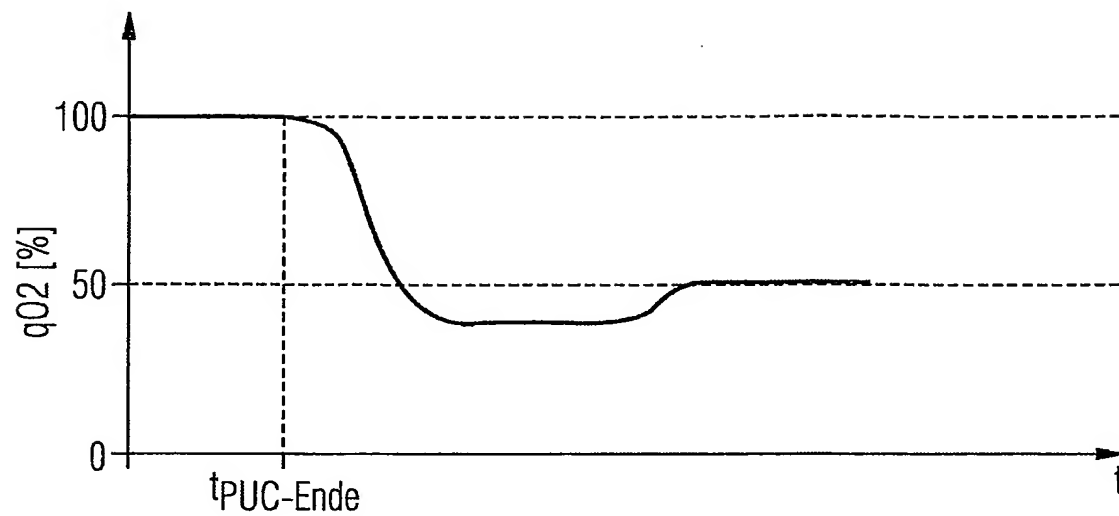


FIG 6

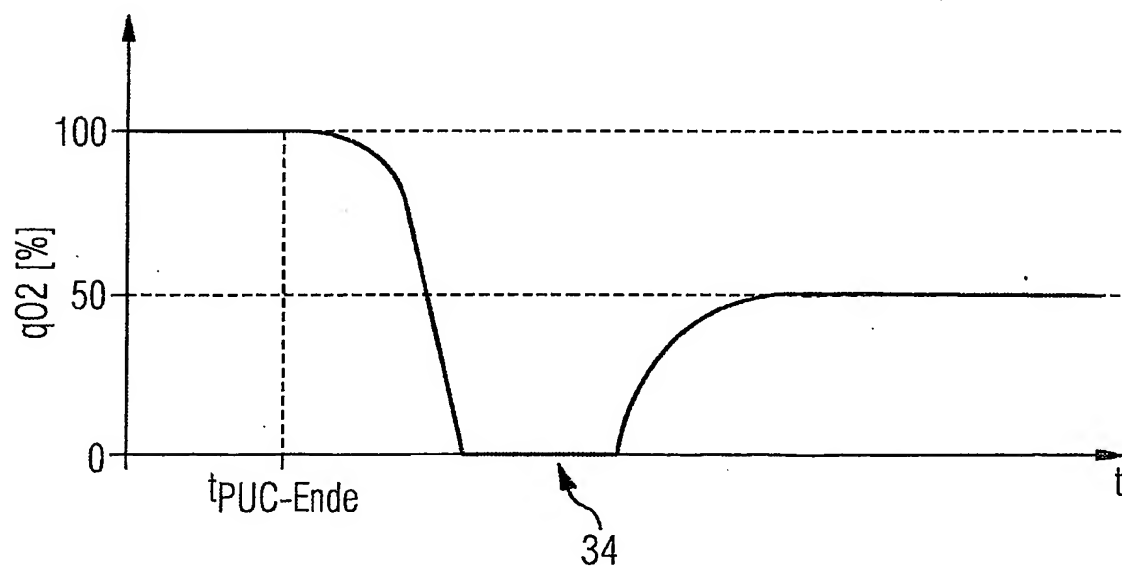


FIG 7

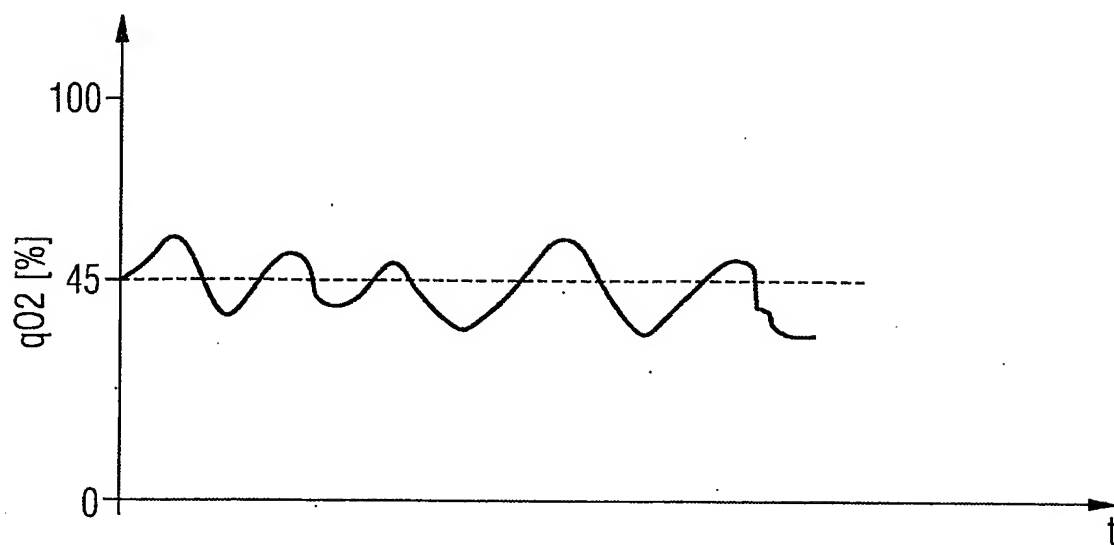


FIG 8

